

Achslastdaten von Kraftfahrzeugen für die Kostenallokation

- o Nutzungsdauerberechnungen für Fahrbahnen
- o Achslastdatenerfassung
- o Nutzung für Funktionsbauverträge, Mauterfassung nach dem Verursacherprinzip

Prof. Dr.-Ing. Martin Köhler
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Detmold

Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Hothan
Ingenieurgemeinschaft ConVia, Hannover

Aufbau und Beanspruchung von Verkehrsflächenbefestigungen

Aufbau von Verkehrsflächenbefestigungen

- Verkehrsflächenbefestigungen sind mehrschichtig aufgebaute Linienbauwerke

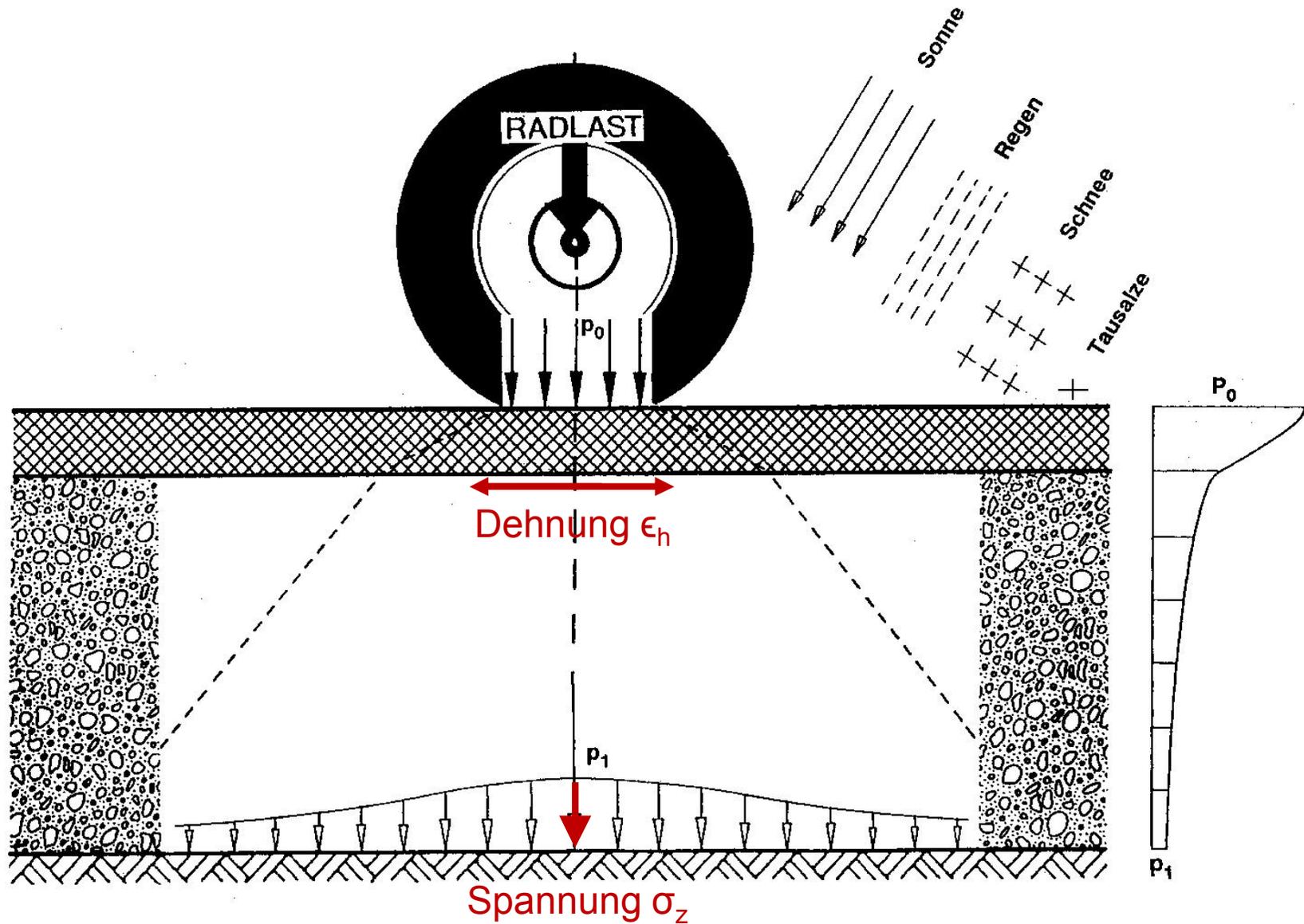


Foto: C. Bachmann

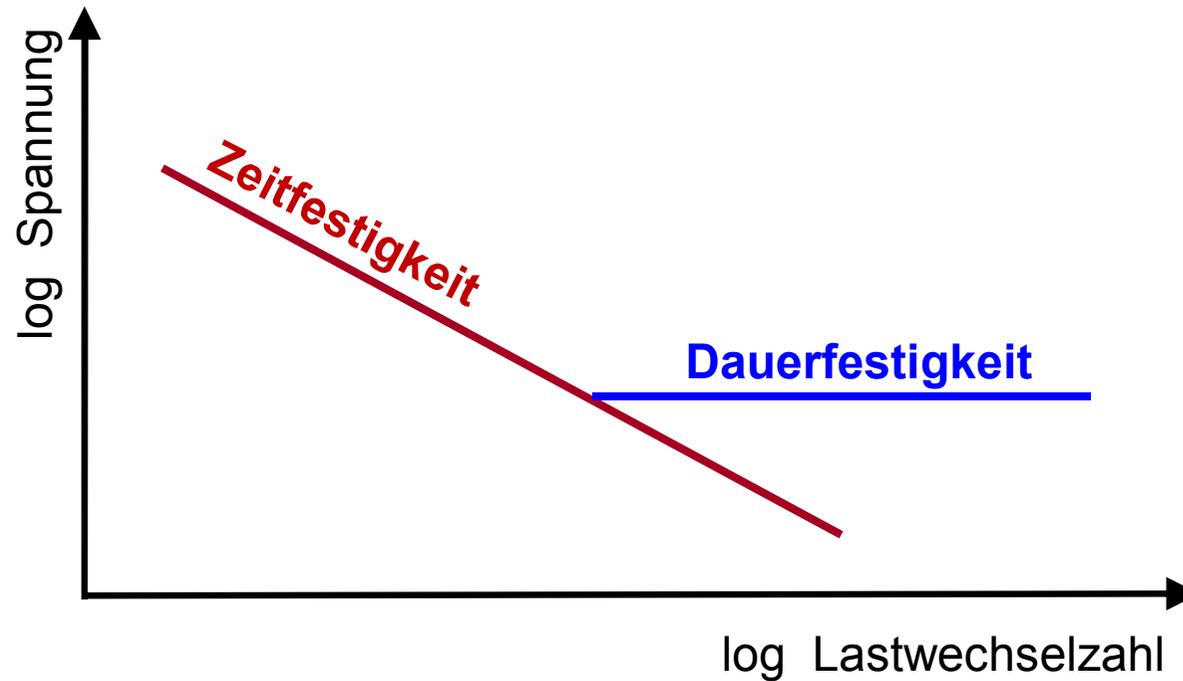
Substanzbegriff

- Verkehrsflächenbefestigungen = Verbrauchsobjekte, besitzen im Neuzustand eine gewisse strukturbedingte Substanz.
- Straßenbaustoffe besitzen keine Dauer-, sondern eine Zeitfestigkeit, d. h. die Substanz wird durch Verkehrs- und Klimaeinwirkung im Verlauf der Nutzungsdauer aufgebraucht.
- "Substanz" = eine Reihe zustandsbewahrender Eigenschaften der Gesamtkonstruktion.
- Verkehrsflächenbefestigung muss beim Neubau einen Anfangsbestand an Substanz aufweisen, der auf die in der Nutzungsdauer zu erwartende Verkehrsmenge abgestimmt werden muss.
- Substanzverzehr lässt sich äußerlich an den Veränderungen des Oberflächenzustandes der Fahrbahn erkennen und erfassen.

Beanspruchung von Verkehrsflächenbefestigungen



Zeitfestigkeit von Straßenbaustoffen



Quelle: Lempe, U.: Dynamischer Schubmodul und Dauerschubfestigkeit bituminös gebundener Baustoffe; Reihe "Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik", Heft 130 (1972)

Dimensionierung von Verkehrsflächenbefestigungen

Ermüdung / Substanzverzehr

Ermüdungsbeitrag eines bestimmten Beanspruchungszustandes:

$$C = \frac{\text{vorh } n_i}{\text{zul } N_i}$$

$$= \frac{\text{Anzahl tatsächlich im Beanspruchungszustand } i \text{ erfolgender Lastwiederholungen}}{\text{Anzahl der im Beanspruchungszustand } i \text{ ertragbarer Lastwiederholungen}}$$

Der Beanspruchungszustand wird beeinflusst durch:

- Fahrbahnmodell (Schichtenaufbau, Schichteigenschaften)
- klimatisch-hydrologischer Zustand der Schichten
- Achs-/Radlast (Lastintensität, Radaufstandsfläche)

Quelle: Miner, M. A.: Cumulative Damage in Fatigue; Journal of Applied Mechanics, Vol. 12, No. 3 (1945)

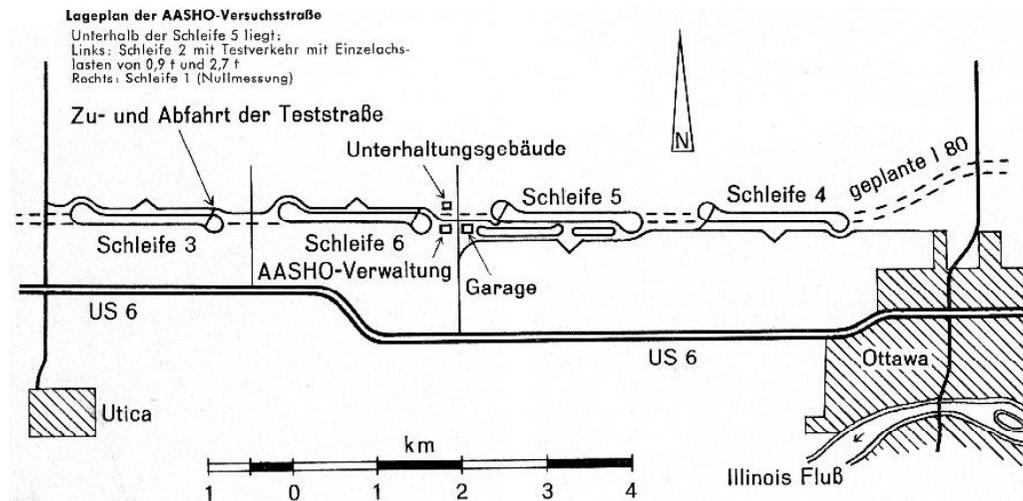
Anzahl ertragbarer Lastwiederholungen

$$zul\ N = K_1 \cdot \left(\frac{1}{\epsilon}\right)^{K_2}$$

- zul N Anzahl ertragbarer Lastwechsel mit dem angesetzten Beanspruchungszustand bis zum Bruch
- ϵ Maßgebende Dehnung im kraftgeregelten Belastungsversuch
- ϵ_h Max. Horizontaldehnung
- K_1, K_2 Temperaturabhängige Systemparameter

Erste Aussagen zur Größe der Koeffizienten K_1 und K_2 wurden aus den Auswertungen des AASHO-Road-Tests abgeleitet.

AASHO-Road-Test (1958 - 1960)



Schleife	Spur	Gewicht in Tonnen		
		Lenkachse	Lastachse	Totalgewicht
②	①	0,9	0,9	1,8
	②	0,9	2,7	3,6
③	①	1,8	5,5	12,8
	②	2,7	10,9	24,5
④	①	2,7	8,2	19,1
	②	4,1	14,5	33,1
⑤	①	2,7	10,2	23,1
	②	4,1	18,2	40,5
⑥	①	4,1	13,6	31,3
	②	5,5	21,8	49,1

Quelle: Mittmeyer, H.: Zur Frage des AASHO-Roads-Tests aus amerikanischer und westeuropäischer Sicht; Straßenbau-Technik Nr. 3 - 1. Februar 1963

4.-Potenz-Gesetz / Achslastäquivalenz

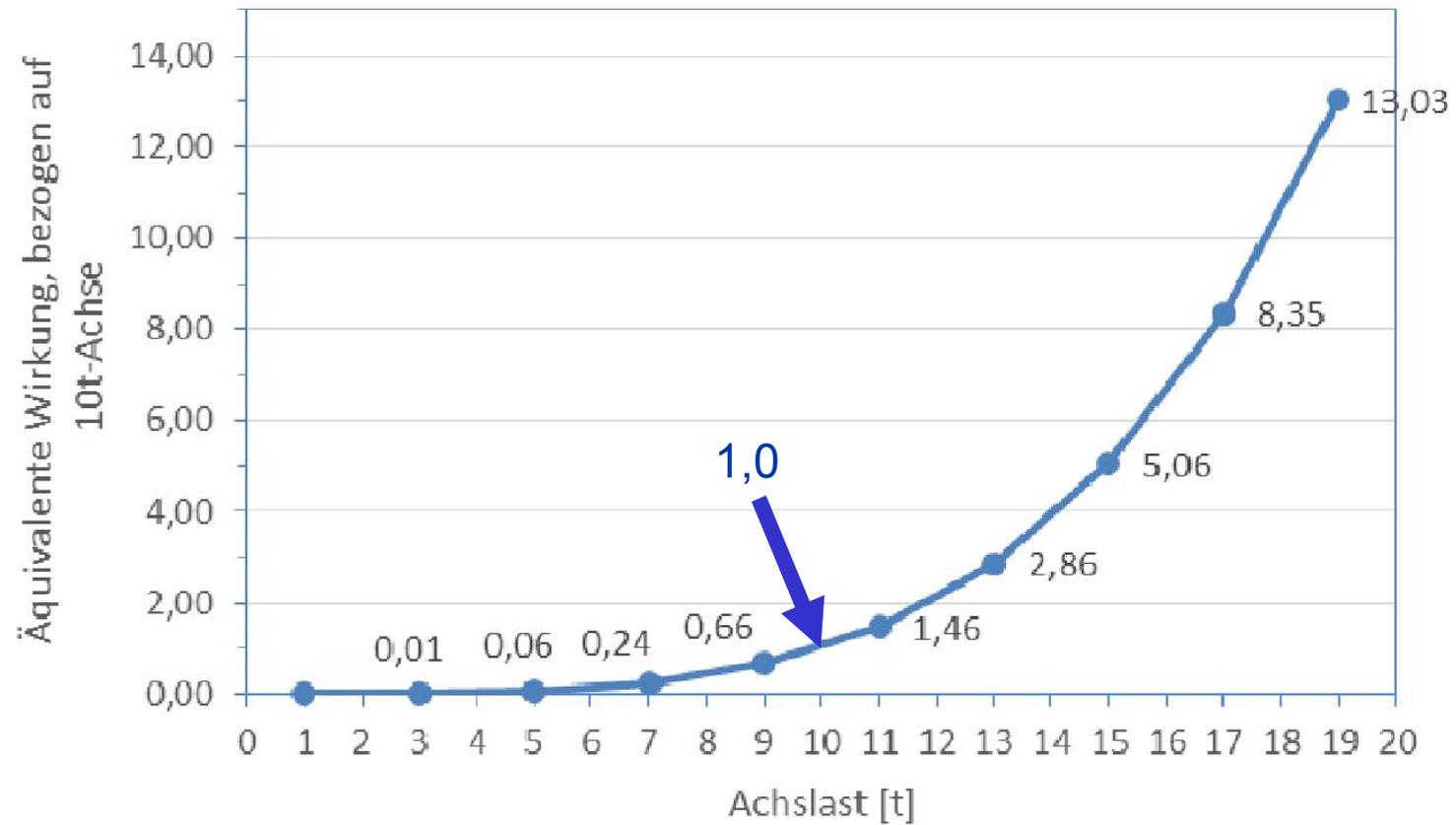
Teilergebnis des AASHO-Road-Tests:

$$\text{äquivalente Wirkung} = \left(\frac{\text{tatsächliche Achslast}}{\text{Bezugsachslast}} \right)^4$$

Dies entspricht einem Ausgangswert in der MINERschen Schadensakkumulation von $K_2 = 4$

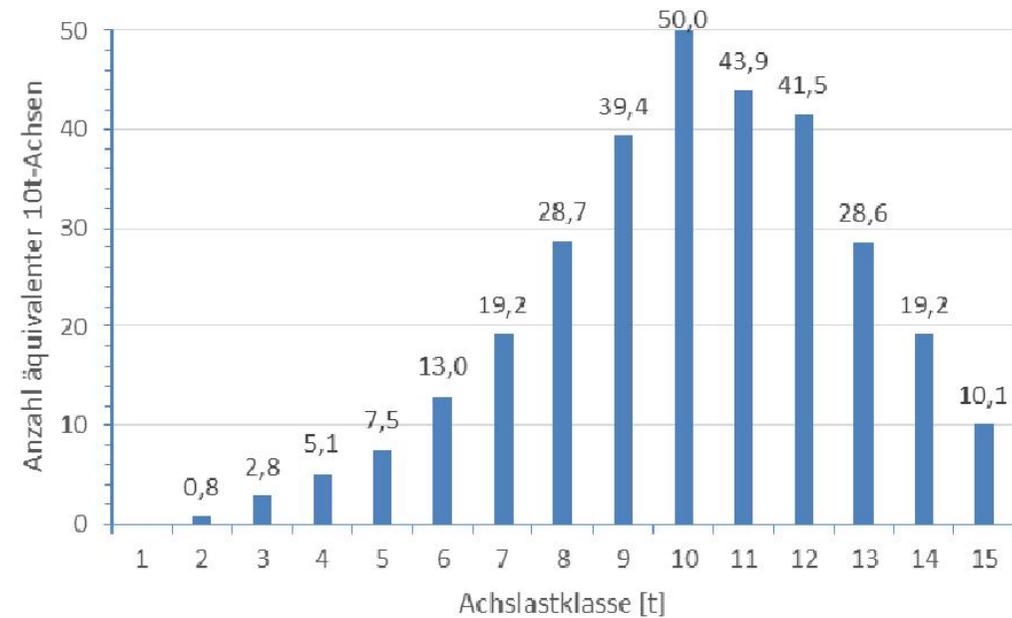
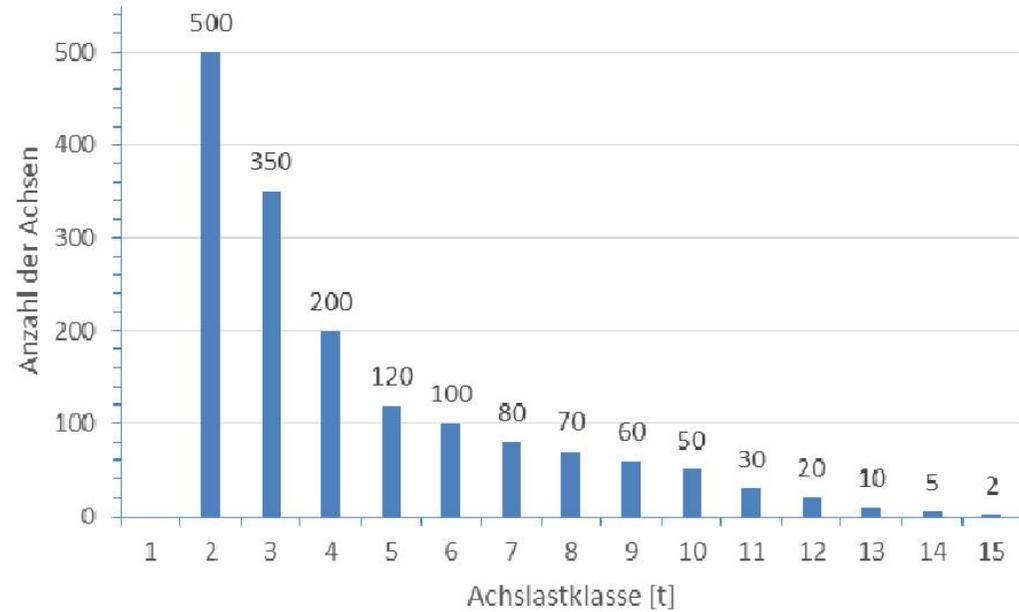
Quelle: Der AASHO-Road-Test; Reihe "Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen", Heft 73; Kirschbaum Verlag (1968)

4.-Potenz-Gesetz



4.-Potenz-Gesetz

(Beispiel;
nur Kfz > 3,5 t)



Ermittlung der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B als Eingangsgröße für die Oberbaudimensionierung

$$B = 365 \cdot f_3 \cdot \sum_{i=1}^N \left[EDTA_{i-1}^{(SV)} \cdot f_{1i} \cdot f_{2i} \cdot (1 + p_i) \right]$$

mit

$$EDTA_{i-1}^{(SV)} = \sum_k \left[DTA_{i-1,k}^{(SV)} \cdot \left(\frac{L_k}{L_0} \right)^4 \right]$$

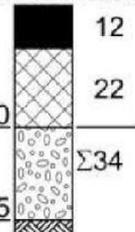
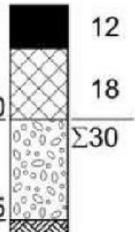
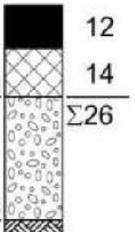
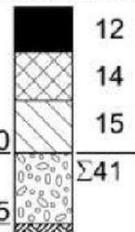
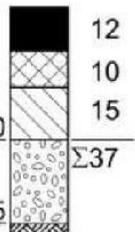
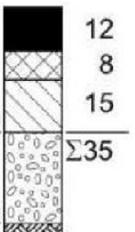
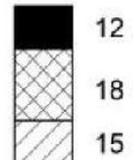
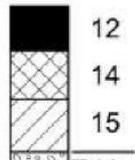
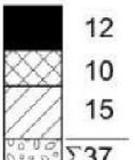

- B Gewichtete äquiv. 10 t-Achsübergänge im zugrunde gel. Nutzungszeitraum [-]
- N Anzahl der Jahre i des zugrundegelegten Nutzungszeitraumes [-] **i. a. 30 J.**
- $EDTA^{(SV)}$ Durchschnittliche Anzahl der tägl. SV-Achsübergänge [Aü/24h]
- $DTA^{(SV)}_k$ Durchschnittl. Anzahl der tägl. SV-Achsübergänge im Nutzungsjahr i-1 in der Lastklasse k [Aü/24h]
- k Lastklasse, als Gruppe von Einzelachslasten definiert
- L_k Mittlere Achslast (Achsmasse) in der Lastklasse k [t]
- L_0 Bezugsachslast: **10 t**
- f_{1i}, f_{2i}, f_3 Faktoren für Trassierungsparameter (Fahrstreifenanzahl und -breite, Steigung) [-]
- p_i Mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs im Nutzungsjahr i [-]

Quelle: FGSV: Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO 12)

Festlegung der Oberbau-Schichtdicken (auszugsweise für Asphalt)

Konstruktionsdicke abhängig von der Verkehrsbelastung und den örtlichen Gegebenheiten →

Bauweisen untereinander gleichwertig

Zeile	Belastungsklasse	Bk100				Bk32				Bk10				Bk3		
	B [Mio]	> 32				> 10 - 32				> 3,2 - 10				> 1,8 -		
	Dicke des frostsich. Oberbaues ¹⁾	55	65	75	85	55	65	75	85	55	65	75	85	45	55	65
Asphalttragschicht auf Frostschuttschicht																
1	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	22				18				14				10		
	Frostschuttschicht	45				45				45				45		
	Dicke der Frostschuttschicht	-	31 ²⁾	41	51	25 ³⁾	35	45	55	29 ³⁾	39	49	59	-	33 ²⁾	43
Asphalttragschicht und Tragschicht mit hydraulischem Bindemittel auf Frostschicht aus frostunempfindlichem Material																
2.1	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	14				10				8						
	Hydraulisch gebundene Tragschicht (HGT)	15				15				15						
	Frostschuttschicht	45				45				45						
Dicke der Frostschuttschicht	-	-	34 ²⁾	44	-	28 ³⁾	38	48	-	30 ²⁾	40	50				
2.2	Asphaltdecke															
	Asphalttragschicht	18				14				10				10		
	Verfestigung	15				15				15				15		
	Schicht aus	15				15				15				15		

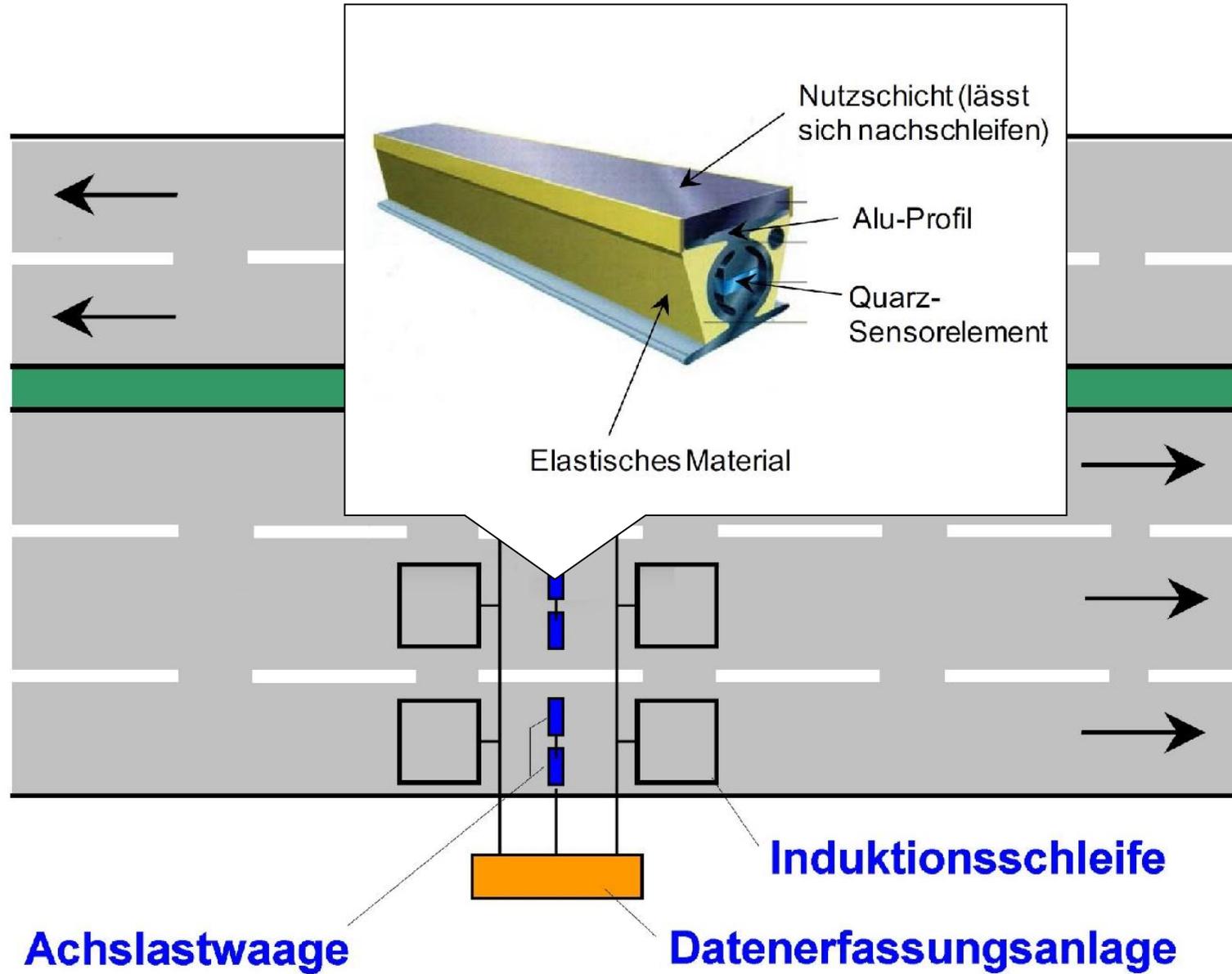
Quelle: FGSV: RStO 12

Erfassung von Achslastdaten mit Achslastwaagen

Übliche Angaben zur Verkehrsbelastung: Verkehrsmengen (Pkw, Lkw)



Achslastwaage



Anforderungen für Achslastwägestellen

- Fahrstreifenbreite > 3 m,
- Längsneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren ≤ 2 %,
- Querneigung 45 m vor und 20 m nach den Sensoren ≤ 2 %,
- geringe Fahrbahnunebenheiten, Profiltiefe in Quer- und Längsrichtung unter einer 4 m langen Messlatte < 4 mm,
- Kurvenradius > 1.700 m und
- möglichst gleichmäßiger Verkehrsablauf (wenig Brems- und Beschleunigungsvorgänge oder Fahrstreifenwechsel).

Investitionsaufwand (2 Fahrstreifen): ca. 200.000 €

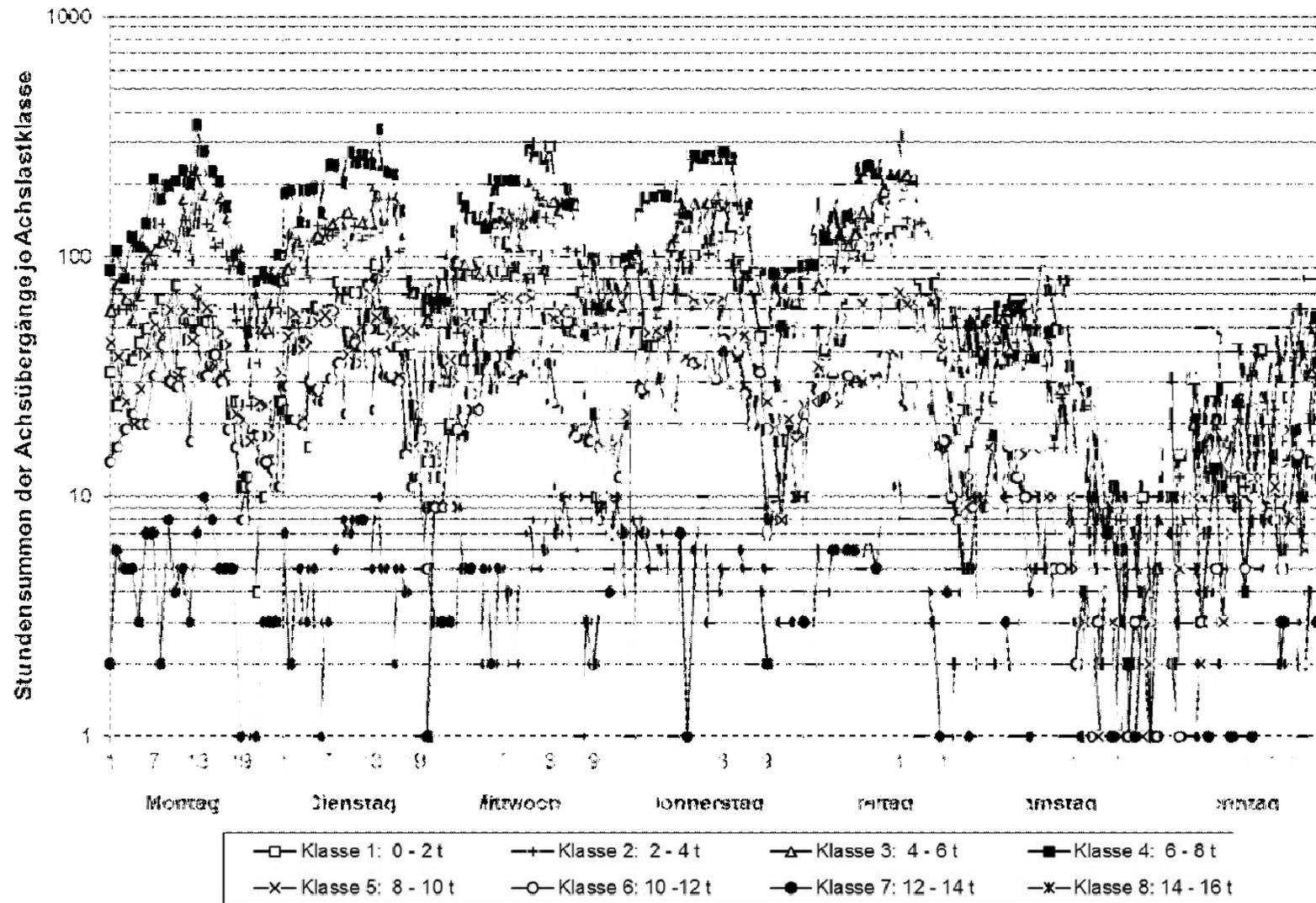
Quelle: Wolf, A.: Modell zur straßenbautechnischen Analyse der durch den Schwerverkehr induzierten Beanspruchung des BAB-Netzes; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft S 61 (2010)

Achslastwägestellen der Bundesanstalt für Straßenwesen auf BAB

- Achslastwaagen der 1. Generation sind nicht mehr funktionsfähig.
- In Betrieb sind einige Messstellen der 2. Generation und (seit 2011) die Messstellen der 3. Generation.
- Z. Z. in Betrieb sind 14 Richtungsmessstellen
- Achslastmessstellen erfassen nicht kontinuierlich, sondern weisen Ausfälle auf, die sowohl auf eine nicht mehr ganz ebene Fahrbahn als auch auf Sensorfehler/Sensorausfälle zurückzuführen sind.

14 Richtungsmessstellen sind völlig unzureichend, um die achslastbezogene Verkehrsbelastung auf BAB ausreichend zu erfassen!

Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)



Quelle der Daten: Bundesanstalt für Straßenwesen

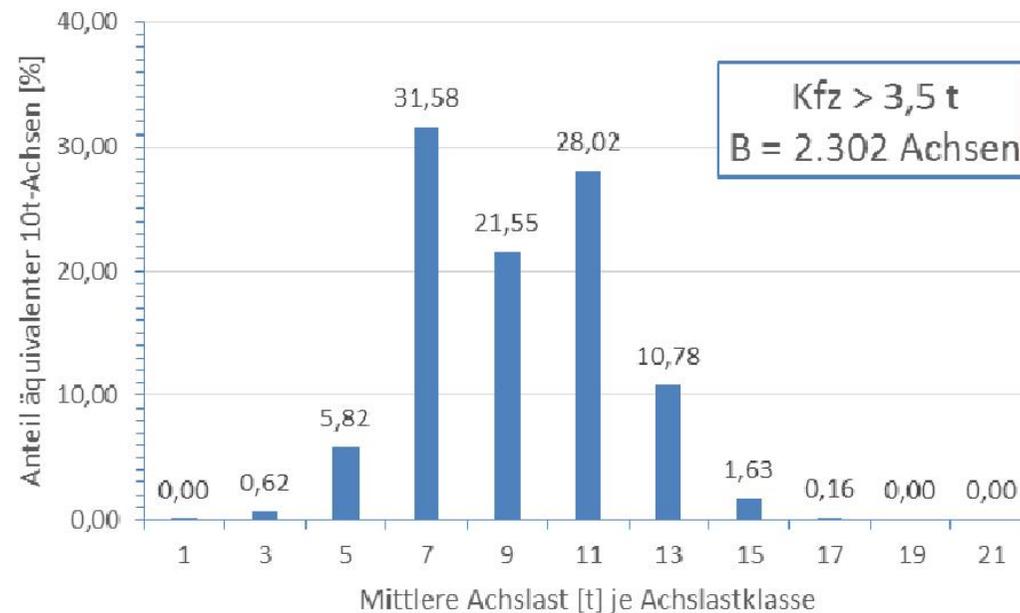
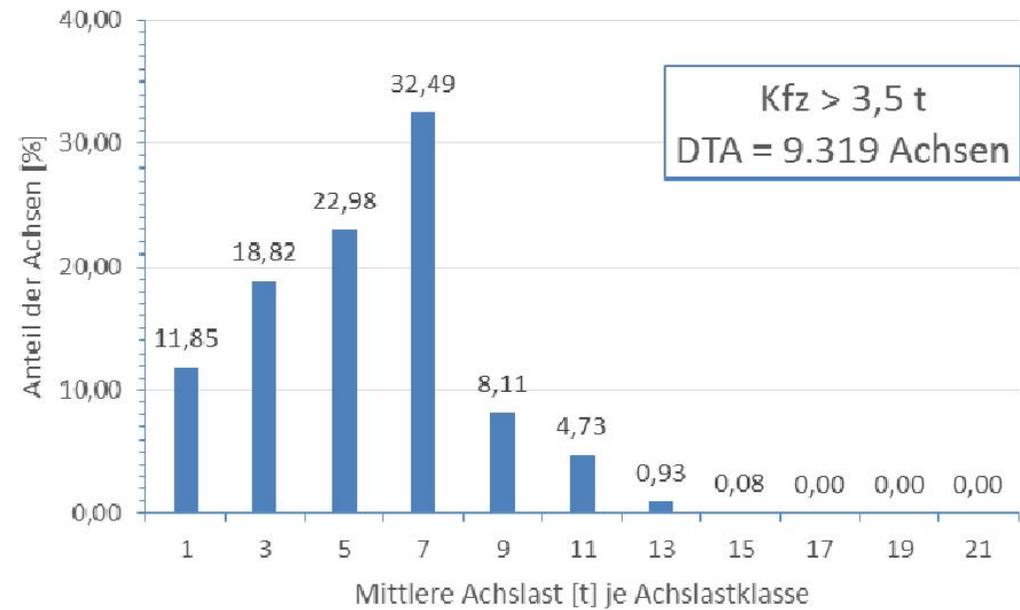
Kfz > 3,5 t

Woche 20.03. - 26.03.2006

Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)

Woche:
20.03. - 26.03.2006

Quelle der Daten: Bundesanstalt für Straßenwesen

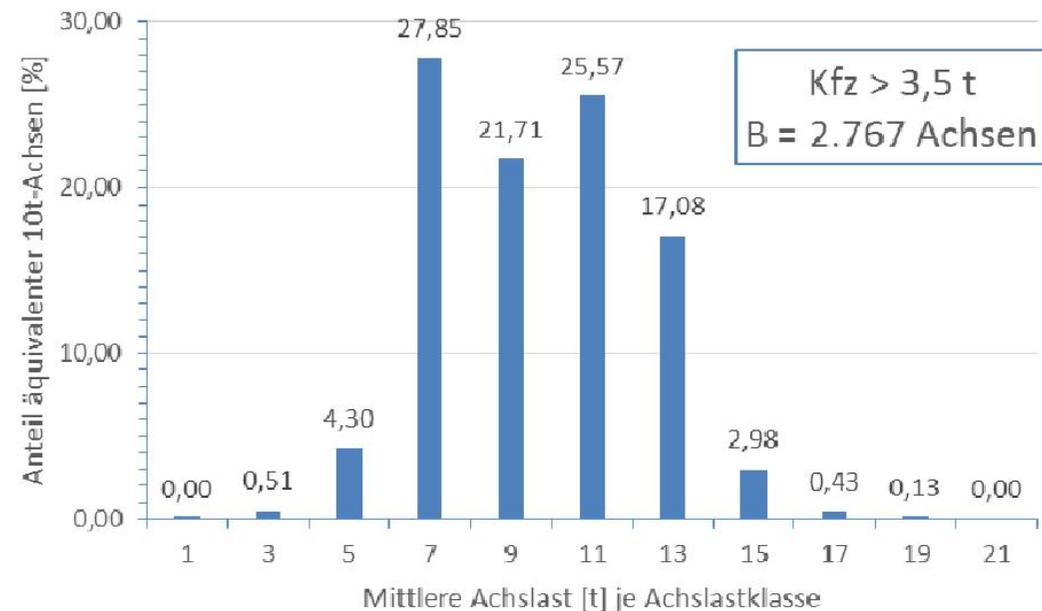
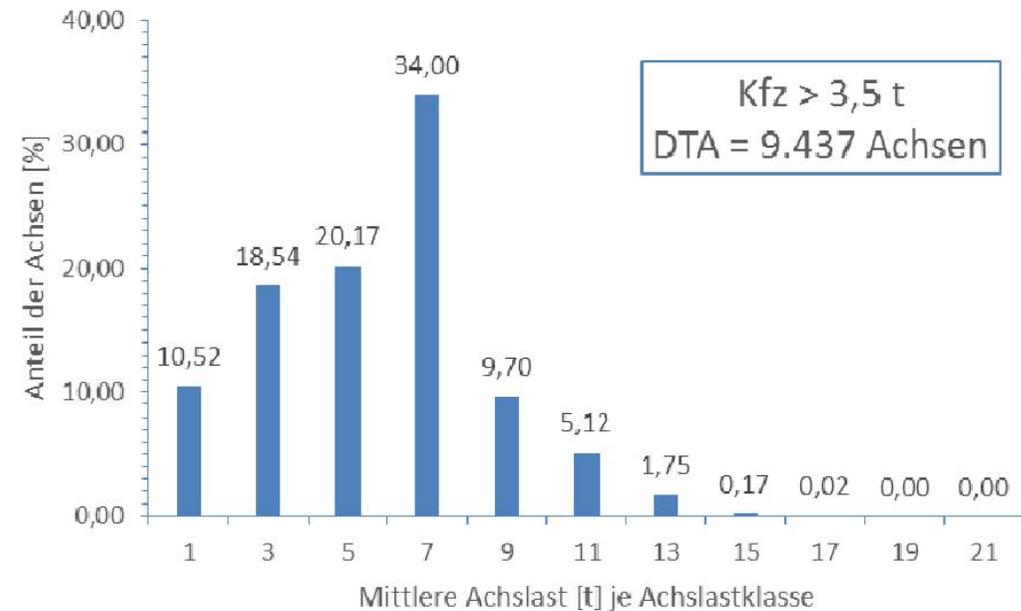


Auswertung von Achslastdaten einer Achslastwaage (BAB A24)

Woche:
20.03. - 26.03.2013

Zuwachs gegenüber 2006:
 Achsen: 1,3 %
 10 t-äquiv. Achsen: 20,2 %

Quelle der Daten: Bundesanstalt für Straßenwesen



Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET



Vorsortierung mit fahrbahnintegrierter Achslastwaage

Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET

> 0% > 5% > 10% > 15% > 20%



Zugmaschine ist stark überladen 20,8% +3.750kg
Bußgeld: 190 EUR und 3 Punkte
Vorbeifahrt in 00:31 Min 88km/h

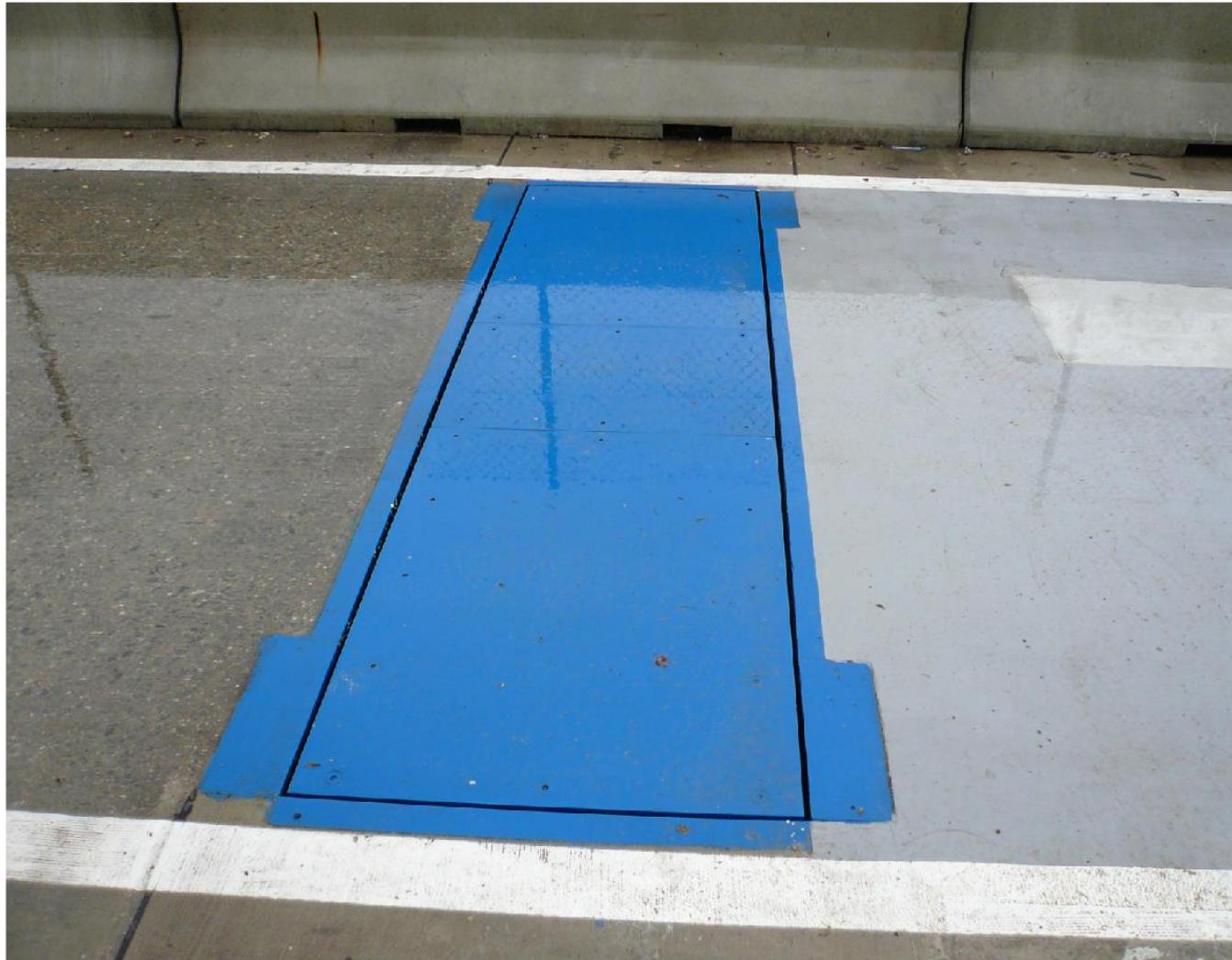


Gesamtgewicht	35.270kg	36.000kg	-2,03%
Zugmaschine (AB):	21.750kg	18.000kg	20,83%
Anhänger (CD):	13.520kg	18.000kg	-24,89%
Achsgruppe A:	8.370kg	10.000kg	-16,30%
Achsgruppe B:	13.380kg	11.500kg	16,35%
Achsgruppe C:	13.520kg	20.000kg	-32,40%
Achse 1:	8.370kg	10.000kg	-16,30%
Achse 2:	13.380kg	11.500kg	16,35%
Achse 3:	7.290kg	10.000kg	-27,10%
Achse 4:	6.230kg	10.000kg	-37,70%

		Vorbeifahrt in 01:01 Min 33.470kg 85km/h Zugmaschine: 14,9% 110 EUR
		Vorbeifahrt in 00:54 Min 41.130kg 88km/h Anhänger: 3,3% 0 EUR
		Vorbeifahrt in 00:31 Min 35.270kg 88km/h Zugmaschine: 20,8% 190 EUR
		Vorbeifahrt vor 00:11 Min 45.540kg 88km/h Gesamtfahrzeug: 13,8% 110 EUR
		Vorbeifahrt vor 00:16 Min 42.910kg 92km/h Gesamtfahrzeug: 7,3% 80 EUR
		Vorbeifahrt vor 00:57 Min 6.300kg 92km/h Gesamtfahrzeug: 80,0% 380 EUR
		Vorbeifahrt vor 00:52 Min

ROC Systemtechnik GmbH Elisabethstrasse 69, 8010 Graz, Austria 0043 316 337906 office@rocgbh.com

Achslastwaage zur Ahndung von Überladungen (BAB A8) EU-Projekt ASSET



Geeichte Achslastwaage auf benachbartem Parkplatz

Vertragliche Relevanz von Achslastdaten in ÖPP-Projekten

Beispiel eines Funktionsbauvertrages

Vertragsbestandteil ist

- die Erneuerung der Fahrbahnbefestigung einer Autobahn auf der Basis **selbst festgelegter Baustoffspezifikationen, Einbauverfahren und Schichtdicken,**
- die Bauliche Erhaltung für 25 Jahre ab Übergabe, **jedoch längstens bis die Summe der um 10 % erhöhten äquivalenten 10 t-Achslasten in Höhe von 50 Mio. überschritten ist.**

Achslasten in der Lkw-Maut?

Mautregelung

Mautsätze 01.01.2015 - 30.09.2015 für Lkw ab 12 t zulässigem Gesamtgewicht	
Mautsatzanteil für Luftverschmutzung	Mautsatzanteil für Infrastruktur
Schadstoffklassen A: 0 bis F: 8,3 Cent	bis 3 Achsen: 12,5 Cent
	ab 4 Achsen: 13,1 Cent

Mautsätze ab 01.10.2015 für Lkw ab 7,5 t zulässigem Gesamtgewicht	
Mautsatzanteil für Luftverschmutzung	Mautsatzanteil für Infrastruktur
Schadstoffklassen A: 0 bis F: 8,3 Cent	2 Achsen: 8,1 Cent
	3 Achsen: 11,3 Cent
	4 Achsen: 11,7 Cent
	ab 5 Achsen: 13,5 Cent

Die Mautsätze fördern den Einsatz von Fahrzeugen mit geringerer Achszahl, führen somit zu höheren Achslasten!

Fahrzeuggestützte Achslasterfassung

Elektron. Stabilitätsprogramm / autom. Höhenniveauregulierung

Adaptives Stabilitätsprogramm:

- Erweiterung des ESP,
- Masse und aktueller Beladungszustand werden erkannt,
- für Fahrzeuge mit hohem Schwerpunkt: Lkw, Wohnmobile, Kleintransporter.

Load Adaptive Control (LAC):

- Gemessen wird das Fahrzeugverhalten bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen,
- ergänzend zum Gesamtgewicht wird die Verteilung der Ladung und die Schwerpunktlage bestimmt,
- das Ansprechverhalten von ASR und ESP wird auf diese Werte abgestimmt.

Achslastmesseinrichtung (bei allen NFZ-Herstellern)

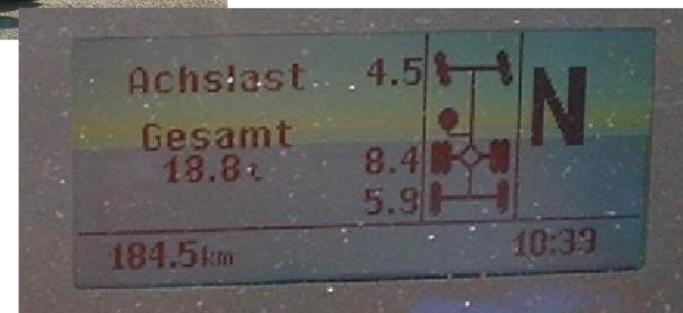
Zusatzeinrichtung Lkw:

- Drucksensoren (zukünftig an Luftfederung) erfassen Luftfedertraglast (für Höhenregulierung),
- Achsgewichte werden daraus ermittelt und dem Fahrer angezeigt,
- Daten ließen sich an stationäre Erfassungssysteme weiterleiten.

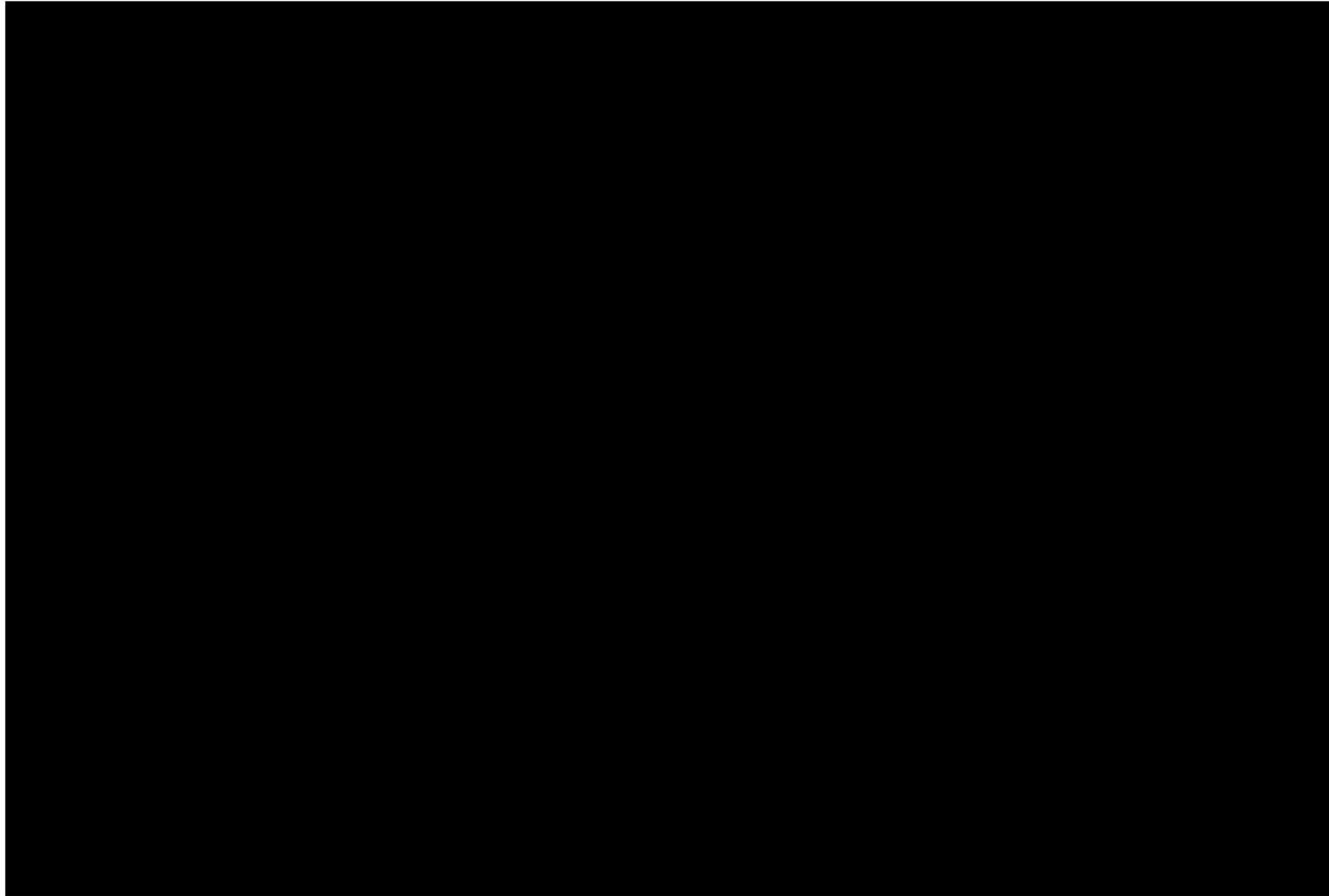
Achslastmesseinrichtung Mercedes-Benz Econic



Fotos: Stadt Detmold, Städtische Betriebe, Team Abfallwirtschaft



Achslastmesseinrichtung MAN



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=1f7gzSEnFrQ> (Freigabe durch MAN Corporate Communications)

Fazit

Fazit

- Verkehrsflächenbefestigungen sind Verbrauchsobjekte mit beschränkter Nutzungsdauer
- Insbesondere hohe Achslasten führen zu einem extrem starken Substanzverzehr (4. Potenz-Gesetz)
- Vorhandenes System der Achslastmessungen ist völlig unzureichend
- Zeitabhängige Abschreibungsmodelle sollten achslastbasiert nachjustiert werden
- Mautsätze der Lkw-Maut fördern Fahrzeuge mit geringerer Achszahl, was (bei gleicher Gütermasse) zu höheren Achslasten führt
- Systeme zur fahrzeuggestützten Achslastmessung sind verfügbar
- Sie würden eine verursacherbezogene Mauterhebung und eine restriktive Vermeidung von Überladungen durch automatisiertes Eingreifen ermöglichen

Доверяй, но проверяй

"Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser!"

Lenin

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit